

Методические указания по расчету устойчивости стреловых самоходных кранов с телескопической стрелой

РД 36.22.17-08

Продолжение. Начало в журнале «Все краны» №2/28 март-апрель 2009.

ОАО «ВКТИмонтажстроймеханизация», г. Москва:
канд. техн. наук. **Гудков Ю.И., Лебедев В.М., Цаллагова И.В.**
ООО НПП «ЭГО», г. Москва:
канд. техн. наук. **Федоров И.Г.**, канд. техн. наук.
Каминский Л.С., Пятницкий И.А.,
канд. техн. наук. **Алексанкин В.А.**

3.4. Рабочее оборудование (стрела, гусек)

3.4.1. Исходные данные

Все геометрические параметры задаются в местных системах координат стрелы $X_c Y_c Z_c$ и гуська $X_2 Y_2 Z_2$. В стрелу входят все секции, гидроцилиндры выдвижения стрелы, ролики и прочие элементы.

Для расчета задают следующие параметры (Рисунок 3.1):

G_c – вес стрелы с учетом масла в гидросистеме для заданной длины, т;

Z_c, X_c – координаты центра тяжести стрелы в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

G_r – вес гуська, т;

Z_r, X_r – координаты центра тяжести гуська в системе $X_2 Y_2 Z_2$, м;

γ – угол наклона гуська, град;

L_Q – вылет груза в системе $X_n Y_n Z_n$, м

α – угла наклона стрелы к горизонту (если не задан вылет), град;

$X1_c, Z1_c$ – координаты точки 1 в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

$X2_r, Z2_r$ – координаты точки 2 в системе $X_2 Y_2 Z_2$, м;

$X5_c, Z5_c$ – координаты точки 5 в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

$X5_r, Z5_r$ – координаты точки 5 (Рисунок 1.1) в системе $X_n Y_n Z_n$, м;

$X11_c, L11_c$ – координаты точки 11 в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

$X12_c, Z12_c$ – координаты точки 12 в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

L_{c1} – расстояние от точки 1 до начала координат $X_c Y_c Z_c$ по оси $O_c Z_c$;

L_{c0} – длина хвостовой части корневой секции стрелы, м;

L_{ci} – длина выдвинутой части i -ой секции стрелы, м;

B_{ci} – ширина выдвинутой части i -ой секции стрелы, м;

L_r – длина гуська, м;

B_r – ширина гуська, м;

S_{pr} – площадь стержней решетки гуська (для решетчатого гуська);

c_x – коэффициент лобового сопротивления (ГОСТ 1451-77 для решетчатого гуська);

q_0 – ветровой нормативный напор рабочего состояния, т/м²;

3.4.2. Расчет

Определение угла наклона стрелы к горизонту α при заданном вылете груза главного подъема

$$\alpha_1 = \arctg \frac{X1_c - X5_c}{Z1_c} \quad (3.43)$$

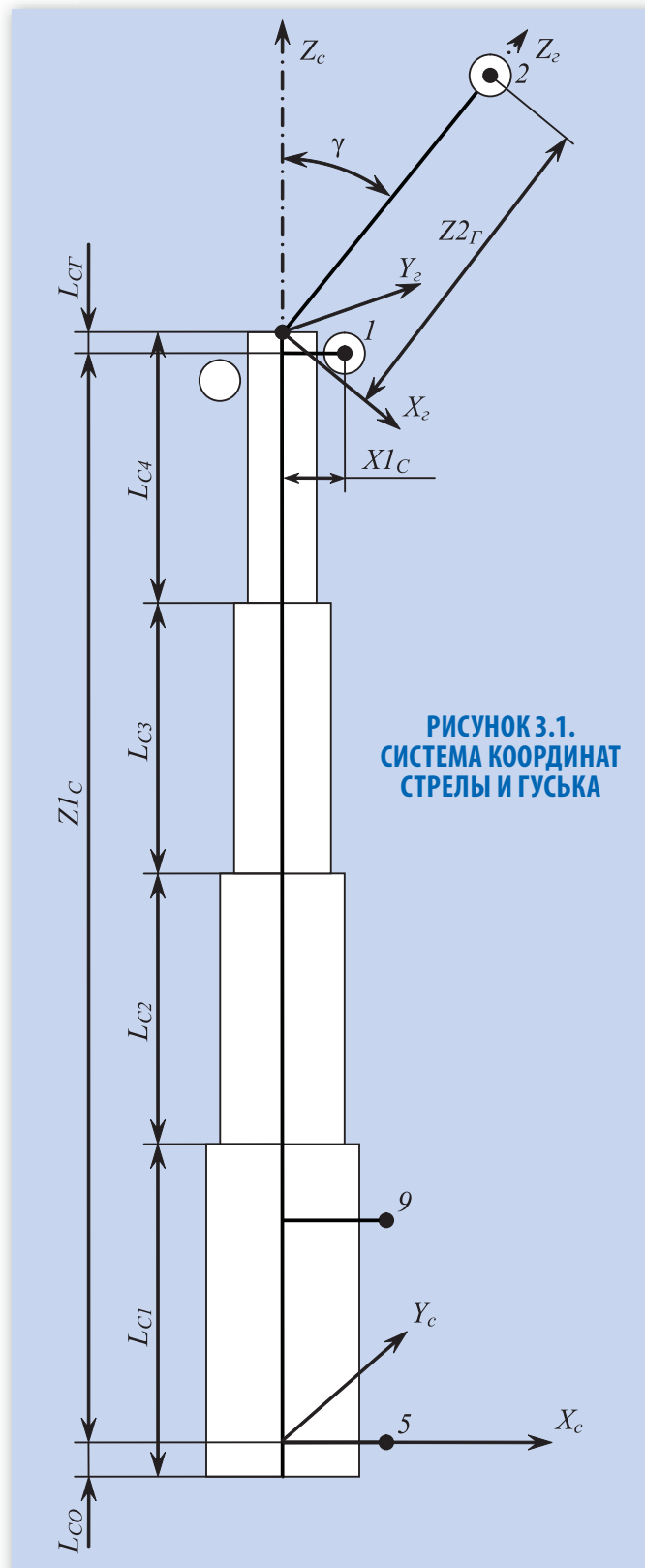


РИСУНОК 3.1.
СИСТЕМА КООРДИНАТ
СТРЕЛЫ И ГУСЬКА

$$L_{51} = \sqrt{(X1_C - X5_C)^2 + Z1_C^2} \quad (3.44)$$

$$\alpha_1'' = \arccos \frac{L_Q - X5_{II}}{L_{51}} \quad (3.45)$$

$$\alpha = \alpha_1' + \alpha_1'' \quad (3.46)$$

Определение вылета груза главного подъема при заданном угле наклона стрелы к горизонту α

$$L_Q = Z1_C \cdot \cos \alpha + (X1_C - X5_C) \cdot \sin \alpha + X5_{II} \quad (3.47)$$

Определение угла наклона стрелы к горизонту α при заданном вылете груза вспомогательного подъема

$$\alpha_2' = \arctg \frac{Z2_{II} \cdot \sin \gamma - X5_C}{Z1_C + L_{CI} + Z2_{II} \cdot \cos \gamma} \quad (3.48)$$

$$L_{52} = \sqrt{(Z2_{II} \cdot \sin \gamma - X5_C)^2 + (Z1_C + L_{CI} + Z2_{II} \cdot \cos \gamma)^2} \quad (3.49)$$

$$\alpha_2'' = \arccos \frac{L_Q - X5_{II}}{L_{52}} \quad (3.50)$$

$$\alpha = \alpha_2' + \alpha_2'' \quad (3.51)$$

Определение вылета груза вспомогательного подъема при заданном угле наклона стрелы к горизонту α

$$L_Q = (Z1_C + L_{CI} + Z2_{II} \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \alpha + (Z2_{II} \cdot \sin \gamma - X5_C) \cdot \sin \alpha + X5_{II} \quad (3.52)$$

Определение высоты точки подвеса грузового полиспаста для главного подъема

$$H_{QG} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + Z1_C \cdot \sin \alpha - X1_C \cdot \cos \alpha \quad (3.53)$$

Определение высоты точки подвеса грузового полиспаста для вспомогательного подъема

$$H_{QG} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + (Z1_C + L_{CI}) \cdot \sin \alpha + Z2_{II} \cdot \sin(\alpha - \gamma) \quad (3.54)$$

Высота подъема крюковой подвески главного и вспомогательного подъема

$$H_Q = H_{QG} - \Delta H \quad (3.55)$$

где ΔH – расстояние между осями грузового полиспаста и полиспаста крюковой подвески. Принимаем $\Delta H = 1$ м.

Момент инерции стрелы относительно шарнира крепления стрелы

$$J_{CII} = \frac{G_C}{3 \cdot g} \cdot Z_C \cdot (Z1_C - Z_C) + \frac{G_C}{g} \cdot (Z_C^2 + (X5_C - X_C)^2) \quad (3.56)$$

Координаты центра тяжести гуська в системе $X_c Y_c Z_c$

$$X_{IC} = Z_{II} \cdot \sin \gamma + X_{II} \cdot \cos \gamma \quad (3.57)$$

$$Z_{IC} = Z1_C + L_{CI} + Z_{II} \cdot \cos \gamma - X_{II} \cdot \sin \gamma \quad (3.58)$$

Момент инерции гуська (если он установлен) относительно шарнира крепления стрелы

$$J_{GII} = \frac{G_{II}}{3 \cdot g} \cdot Z_{II} \cdot (Z2_{II} - Z_{II}) + \frac{G_{II}}{g} \cdot (Z_{IC}^2 + (X5_C - X_{IC})^2) \quad (3.59)$$

Суммарный момент инерции стрелового оборудования относительно ребра опрокидывания

$$J_{C1-4} = J_{CII} + J_{GII} + \frac{G_C + G_{II}}{g} \cdot ((l - X5_{II})^2 + (Z5_{II} + H_O)^2) \quad (3.60)$$

$$J_{C5-8} = J_{CII} + J_{GII} + \frac{G_C + G_{II}}{g} \cdot ((l + X5_{II})^2 + (Z5_{II} + H_O)^2) \quad (3.61)$$

вес стрелы и гуська к оси грузового полиспаста

$$G_{CO} = \frac{G_C \cdot (Z_C \cdot \cos \alpha + (X_C - X5_C) \cdot \sin \alpha) + G_{II} \cdot (Z_{IC} \cdot \cos \alpha + (X_{IC} - X5_C) \cdot \sin \alpha)}{L_Q - X5_{II}} \quad (3.62)$$

Приведенный вес стрелы и гуська к шарниру стрелы

$$G_{CII} = G_C + G_{II} - G_{CO} \quad (3.63)$$

Координаты центра тяжести стрелы в системе $X_n Y_n Z_n$

$$X_{CII} = X5_{II} + (X_C - X5_C) \cdot \sin \alpha + Z_C \cdot \cos \alpha \quad (3.64)$$

$$Z_{CII} = Z5_{II} + (X5_C - X_C) \cdot \cos \alpha + Z_C \cdot \sin \alpha \quad (3.65)$$

Координаты центра тяжести гуська в системе $X_n Y_n Z_n$

$$X_{GII} = X5_{II} + (X_{IC} - X5_C) \cdot \sin \alpha + Z_{IC} \cdot \cos \alpha \quad (3.66)$$

$$Z_{GII} = Z5_{II} + (X5_C - X_{IC}) \cdot \cos \alpha + Z_{IC} \cdot \sin \alpha \quad (3.67)$$

Расчет наветренной площади секций стрелы

$$S_{WCi} = L_{Ci} \cdot B_{Ci} \quad (3.68)$$

Координаты центра ветрового давления на элементы стрелы

$$Z_{WC1} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + \left(\frac{L_{C1}}{2} - L_{CO} \right) \cdot \sin \alpha \quad (3.69)$$

$$Z_{WC2} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + \left(\frac{L_{C2}}{2} + L_{C1} - L_{CO} \right) \cdot \sin \alpha \quad (3.70)$$

$$Z_{WC3} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + \left(\frac{L_{C3}}{2} + L_{C2} + L_{C1} - L_{CO} \right) \cdot \sin \alpha \quad (3.71)$$

$$Z_{WC4} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + \left(\frac{L_{C4}}{2} + L_{C3} + L_{C2} + L_{C1} - L_{CO} \right) \cdot \sin \alpha \quad (3.72)$$

$$Z_{WT} = H_O + Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + (L_{\Gamma} \cdot \cos \gamma + L_{C4} + L_{C3} + L_{C2} + L_{C1} - L_{CO}) \cdot \sin \alpha \quad (3.73)$$

Момент от ветровой нагрузки на стрелу относительно ребра опрокидывания

$$M_{WC}^H = q_o \cdot 1.4 \cdot \sin^3 \alpha \cdot \sum \left(0.453 \cdot \sqrt[3]{Z_{Wci}} \right) \cdot S_{Wci} \cdot Z_{Wci} \quad (3.74)$$

Момент от ветровой нагрузки на коробчатый гусек относительно ребра опрокидывания

$$M_{WT}^H = q_o \cdot 1.4 \cdot \sin^3 (\alpha - \gamma) \cdot \left(0.453 \cdot \sqrt[3]{Z_{WT}} \right) \cdot L_{\Gamma} \cdot B_{\Gamma} \cdot Z_{WT} \quad (3.75)$$

Момент от ветровой нагрузки на решетчатый гусек относительно ребра опрокидывания

$$M_{WT}^H = q_o \cdot c_x \cdot \sin^3 (\alpha - \gamma) \cdot \left(0.453 \cdot \sqrt[3]{Z_{WT}} \right) \cdot S_{PF} \cdot Z_{WT} \quad (3.76)$$

где c_x рассчитывается по ГОСТ 1451-77 для пространственных ферм.

Расчет геометрических параметров силового треугольника (точки 5,7,9)

$$L_{57} = \sqrt{(X7_{II} - X5_{II})^2 + (Z7_{II} - Z5_{II})^2} \quad (3.77)$$

$$L_{59} = \sqrt{(X9_C - X5_C)^2 + (Z9_C - Z5_C)^2} \quad (3.78)$$

$$\delta = \arccos \frac{L_{59}^2 + L_{II}^2 - L_{57}^2}{2 \cdot L_{59} \cdot L_{II}} \quad (3.79)$$

Угловая скорость подъема стрелы, 1/сек

$$\omega_C = \frac{V_{II}}{L_{59} \cdot 60 \cdot \sin \delta} \quad (3.80)$$

Линейная скорость центра головного блока стрелы и гуська, м/сек

$$V_C = \omega_C \cdot L_{51} \quad (3.81)$$

$$V_{\Gamma} = \omega_C \cdot L_{52} \quad (3.82)$$

Горизонтальная составляющая линейной скорости центра головного блока стрелы и гуська

$$V_{CT} = V_C \cdot \sin (\alpha - \alpha_1) \quad (3.83)$$

$$V_{GT} = V_{\Gamma} \cdot \sin (\alpha - \alpha_2) \quad (3.84)$$

Вертикальная составляющая линейной скорости центра головного блока стрелы и гуська

$$V_{CB} = V_C \cdot \cos (\alpha - \alpha_1) \quad (3.85)$$

$$V_{GB} = V_{\Gamma} \cdot \cos (\alpha - \alpha_2) \quad (3.86)$$

Координаты точки 11 в системе $X_n Y_n Z_n$

$$X11_{II} = X5_{II} - X5_C \cdot \sin \alpha + Z11_C \cdot \cos \alpha + X11_C \cdot \sin \alpha \quad (3.87)$$

$$Z11_{II} = Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + Z11_C \cdot \sin \alpha - X11_C \cdot \cos \alpha \quad (3.88)$$

Угол наклона к горизонту прямой Л1-11

$$\psi_1 = \arctg \frac{Z11_{II} - ZЛ1_{II}}{X11_{II} - XЛ1_{II}} \quad (3.89)$$

Расстояние между точками Л1-11

$$L_{11Л1} = \sqrt{(X11_{II} - XЛ1_{II})^2 + (Z11_{II} - ZЛ1_{II})^2} \quad (3.90)$$

Расстояние между точками 11-5

$$L_{115} = \sqrt{Z11_C^2 + (X5_C - X11_C)^2} \quad (3.91)$$

Линейная скорость перемещения т.11 при подъеме стрелы

$$V_{11} = \omega_C \cdot L_{115} \quad (3.92)$$

Угол наклона к стреле прямой 11-5

$$\psi_1' = \left| \arctg \frac{X11_{II} - X5_{II}}{Z11_{II} - Z5_{II}} \right| \quad (3.93)$$

Угол наклона выхода каната с лебедки главного подъема к прямой Л1-11

$$\psi_1'' = \arcsin \frac{R_{Л1}}{L_{11Л1}} \quad (3.94)$$

Вертикальная составляющая линейной скорости перемещения главной крюковой подвески при подъеме стрелы

$$V_{K1} = V_{11} \cdot \cos (\psi_1' + \psi_1 - \psi_1'') \quad (3.95)$$

$$V_{K1B} = V_{CB} - \frac{V_{K1}}{N_1} \quad (3.96)$$

Координаты точки 12 в системе $X_n Y_n Z_n$

$$X12_{II} = X5_{II} - X5_C \cdot \sin \alpha + Z12_C \cdot \cos \alpha + X12_C \cdot \sin \alpha \quad (3.97)$$

$$Z12_{II} = Z5_{II} + X5_C \cdot \cos \alpha + Z12_C \cdot \cos \alpha - X12_C \cdot \cos \alpha \quad (3.98)$$

Угол наклона к горизонту прямой Л2-11

$$\psi_2 = \arctg \frac{Z12_{II} - ZЛ2_{II}}{X12_{II} - XЛ2_{II}} \quad (3.99)$$

Расстояние между точками Л2-12

$$L_{12Л2} = \sqrt{(X12_{II} - XЛ2_{II})^2 + (Z12_{II} - ZЛ2_{II})^2} \quad (3.100)$$

Расстояние между точками 12-5

$$L_{125} = \sqrt{Z12_C^2 + (X5_C - X12_C)^2} \quad (3.101)$$

Линейная скорость перемещения т.12 при подъеме стрелы

$$V_{12} = \omega_C \cdot L_{125} \quad (3.102)$$

Угол наклона к стреле прямой 12-5

$$\psi_2 = \left| \arctg \frac{X12_{II} - X5_{II}}{Z12_{II} - Z5_{II}} \right| \quad (3.103)$$

Угол наклона выхода каната с лебедки вспомогательного подъема к прямой 12-12

$$\psi_2 = \arcsin \frac{R_{Л2}}{L_{12Л2}} \quad (3.104)$$

Вертикальная составляющая линейной скорости перемещения вспомогательной крюковой подвески при подъеме стрелы

$$V_{K2} = V_{12} \cdot \cos(\psi_2 + \psi_2 - \psi_2) \quad (3.105)$$

$$V_{K2B} = V_{CB} - \frac{V_{K2}}{N_2} \quad (3.106)$$

3.5. Определение расчетных параметров крана для оценки устойчивости

3.5.1. Исходные данные

Для расчета задают следующие параметры:

l – плечо к ребру опрокидывания, м;

φ – угол поворота платформы, град;

Q^H – нормативный вес груза, т;

L_O – вылет, м;

G_{T1} – вес 1 м каната главного подъема, т;

G_{T2} – вес 1 м каната вспомогательного подъема, т;

G_{KP1} – вес крюковой подвески главного подъема, т;

G_{KP2} – вес крюковой подвески вспомогательного подъема, т;

Z_C – координаты центра тяжести стрелы в системе $X_c Y_c Z_c$, м;

3.5.2. Расчет

3.5.2.1. Предельные углы наклона крана

При расчете по сочетаниям №2-8 (Таблица 1.1) должны учитываться нагрузки от наклона основания крана, совпадающего с направлением ветра и определяемого как сумма предельного угла наклона площадки (или погрешности горизонтирования при работе на опорах) $i1$ и наименьшего угла наклона крана относительно площадки $i2$, при котором все опоры, не лежащие на ребре опрокидывания, оказываются разгруженными. Угол наклона $i1$ должен приниматься по паспорту крана и (или) ИЭ.

Угол наклона крана $i2$, для кранов, установленных на опоры, и гусеничных кранов, может приниматься

$$i_2 = \arctg \frac{0,05}{B} \quad (3.107)$$

где B – расстояние между опорами, колея или база гусеничного движителя, м.

3.5.2.2. Коэффициент перегрузки

Коэффициент перегрузки k , учитывает влияние случайных составляющих нагрузок, действующих на кран. При расчете на испытательные нагрузки (сочетание №1 Таблица 1.1) и на нагрузки, возникающие при внезапном снятии груза (сочетание №8 Таблица 1.1), принимается $k=1$; при расчете на другие сочетания нагрузок k определяют по формуле

$$k = 1 + k_1 \cdot k_2 \quad (3.108)$$

где k_1 – коэффициент надежности, выбирается для рабочего состояния в соответствии с классом ответственности (Таблица 3.2), для нерабочего состояния $k1=3$

ТАБЛИЦА 3.2. КОЭФФИЦИЕНТ НАДЕЖНОСТИ

Класс ответственности крана	I	II	III
Значения $k1$	6,0	5,5	5,0

Примечания:

1. Класс ответственности крана устанавливается в зависимости от области применения:

I – работа с опасными грузами, (например, ядовитыми и взрывчатыми веществами);

II – работа на складах и в портах;

III – все виды работ, за исключением указанных для классов I и II.

2. В случае применения в областях, относящихся к различным классам ответственности, в расчетах принимается класс, соответствующий большей ответственности.

k_2 – коэффициент изменчивости, определяемый отдельно для каждого сочетания нагрузок по формуле

$$k_2 = \frac{\sqrt{\sum (M_i^C)^2}}{M_O^H} \quad (3.109)$$

где M_i^C – опрокидывающий момент от среднего квадратичного отклонения учитываемой случайной составляющей нагрузок, относительно принятого ребра опрокидывания;

M_O^H – опрокидывающий момент от нормативной составляющей нагрузок, действующих на кран относительно принятого ребра опрокидывания.

3.5.2.3. Коэффициент условий работы крана

Моменты относительно ребра опрокидывания от веса частей крана, совпадающие по направлению с удерживающим моментом

$$M' = G_O \cdot (l - X_{OP}) + G_{II} \cdot (l - X_{II}) + G_{II} \cdot N_{II} \cdot (l - X_{III}) + G_{CIII} \cdot (l - X5_{II}) \quad (3.110)$$

Моменты относительно ребра опрокидывания от веса частей крана, совпадающие по направлению с опрокидывающим моментом для главного и вспомогательного подъемов

$$M'' = G_{CO} \cdot (L_O - l) + (G_{T1} \cdot N_1 \cdot H_1 + G_{KP1}) \cdot (X3_{II} - l) + (G_{T2} \cdot N_2 \cdot H_2 + G_{KP2}) \cdot (X4_{II} - l) \quad (3.111)$$

Коэффициент однородности, учитывающий отклонение масс отдельных частей крана от заданных минимальных значений

$$m_2 = \frac{0,95 \cdot M' - 1,05 \cdot M''}{M' - M''} \quad (3.112)$$

Коэффициент вовлечения веса крана в создание удерживающего момента, определяемый для кранов на пневмоколесном ходу согласно Приложению 1, для остальных кранов $m=1$.

Коэффициент условий работы вычисляется по формуле $m_0 = m_1 \cdot m_2$ (3.113)

3.5.2.4. Нагрузки

Нормативная составляющая веса крана

$$G_K^H = G_O + G_{II} + G_{II} \cdot N_{II} + G_C + G_T + G_{KP1} + G_{KP2} \quad (3.114)$$

Нормативная вертикальная нагрузка на крюке крана для статических испытаний

$$Q_C^H = 1.25 \cdot Q^H + 0.25 \cdot G_{KP} + 0.1 \cdot G_{CO} \quad (3.115)$$

Нормативная вертикальная нагрузка на крюке крана для динамических испытаний $Q_D^H = k_D \cdot Q^H$ (3.116)

где k_D – задается в соответствии с конструкторской документацией (если не задан, то принимается равным 1.1).

3.5.2.5. Координаты центра тяжести крана и груза относительно ребра опрокидывания

Расстояние от центра тяжести крана до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота центра тяжести крана над опорным контуром на горизонтальной площадке

$$b_K = l - \frac{G_O \cdot X_{OP} + G_{II} \cdot X_{II} + G_{III} \cdot X_{III} + G_C \cdot X_{CP} + G_{Г} \cdot X_{ГП}}{G_K^H} + \frac{G_{KP1} \cdot X_{3II} + G_{KP2} \cdot X_{4II}}{G_K^H} \quad (3.117)$$

$$h_K = \frac{G_O \cdot (Z_{OP} + H_O) + G_{II} \cdot (Z_{II} + H_O) + G_{III} \cdot (Z_{III} + H_O) + G_C \cdot (Z_{CP} + H_O)}{G_K^H} + \frac{G_{Г} \cdot (Z_{ГП} + H_O) + G_{KP1} \cdot H_1 + G_{KP2} \cdot H_2}{G_K^H} \quad (3.118)$$

Расстояние от центра тяжести крана до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота центра тяжести крана над опорным контуром для расчета устойчивости при испытательных нагрузках

$$b_{K1}^H = b_K \cdot \cos i_2 + h_K \cdot \sin i_2 \quad (3.119)$$

$$h_{K1}^H = -b_K \cdot \sin i_2 + h_K \cdot \cos i_2 \quad (3.120)$$

Расстояние от центра тяжести крана до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота центра тяжести крана над опорным контуром для расчета грузовой устойчивости

$$b_{K2-4} = b_K \cdot \cos(i_2 + i_1) + h_K \cdot \sin(i_2 + i_1) \quad (3.121)$$

$$h_{K2-4} = -b_K \cdot \sin(i_2 + i_1) + h_K \cdot \cos(i_2 + i_1) \quad (3.122)$$

Расстояние от центра тяжести крана до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота центра тяжести крана над опорным контуром для расчета собственной устойчивости

$$b_{K180} = l - \frac{G_O \cdot X_{OP} + G_{II} \cdot (-X_{II}) + G_{III} \cdot (-X_{III}) + G_C \cdot (-X_{CP}) + G_{Г} \cdot (-X_{ГП})}{G_K^H} + \frac{G_{KP1} \cdot (-X_{3II}) + G_{KP2} \cdot (-X_{4II})}{G_K^H} \quad (3.123)$$

$$b_{K5-8} = b_{K180} \cdot \cos(i_2 + i_1) + h_K \cdot \sin(i_2 + i_1) \quad (3.124)$$

$$h_{K5-8} = -b_{K180} \cdot \sin(i_2 + i_1) + h_K \cdot \cos(i_2 + i_1) \quad (3.125)$$

Расстояние от точки подвеса грузового полиспаста до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота точки подвеса груза над опорным контуром для расчета устойчивости при испытательных нагрузках

$$b_{Q1}^H = (L_Q - l) \cdot \cos i_2 + H_Q \cdot \sin i_2 \quad (3.126)$$

$$h_{Q1}^H = -(L_Q - l) \cdot \sin i_2 + H_Q \cdot \cos i_2 \quad (3.127)$$

Расстояние от точки подвеса грузового полиспаста до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, и высота точки подвеса груза над опорным контуром для расчета грузовой устойчивости

$$b_{Q2-4} = (L_Q - l) \cdot \cos(i_2 + i_1) + H_Q \cdot \sin(i_2 + i_1) \quad (3.128)$$

$$h_{Q2-4} = -(L_Q - l) \cdot \sin(i_2 + i_1) + H_Q \cdot \cos(i_2 + i_1) \quad (3.129)$$